

# 基于机器视觉的码坯异常检测与识别

向守兵<sup>1,2</sup> 苏光大<sup>2</sup> 陈健生<sup>2</sup> 刘京<sup>2</sup> 谭孝辉<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 四川工程职业技术学院电气信息工程系, 四川 德阳 618000; <sup>2</sup> 清华大学电子工程系, 北京 100084)

**摘要** 针对砖瓦自动码坯中人工值守效率低、劳动强度大以及易漏检等问题, 提出基于机器视觉的坯体异常自动检测与识别方法。分别采集分坯机和窑车上的坯体图像, 采用改进的准十字中值滤波进行降噪处理; 利用 Canny 算子提取坯体边缘; 在分析坯体外形结构特点的基础上, 采用极角约束的 Hough 变换对坯体纵向边缘直线段进行检测, 提取每列坯体纵向完整度和横向宽度两个特征量对坯体进行异常识别。实验结果表明: 在单层码坯和多层码坯方式下对掉坯、坯体错位和坯体倾斜的平均识别正确率为 98.2%。能满足自动码坯系统中烧结普通砖坯体异常自动检测与识别的需求。

**关键词** 图像处理; 码坯异常识别; 机器视觉; 自动码坯系统

**中图分类号** TP391.4 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201131.0715002

## Brick Stack Anomaly Detection and Recognition Based on Machine Vision

Xiang Shoubing<sup>1,2</sup> Su Guangda<sup>2</sup> Chen Jiansheng<sup>2</sup> Liu Jing<sup>2</sup> Tan Xiaohui<sup>1</sup>

*1* Department of Electrical Engineering and Information, Sichuan Engineering Technical College, Deyang, Sichuan 618000, China  
*2* Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China

**Abstract** Aiming at solving the problems such as low efficiency, high labor intensity and unsatisfying detection accuracy in traditional automatic brick stacking, a machine vision based automatic brick anomaly detection and recognition method is proposed. Brick images are captured from the brick delivering machine and the pit car are denoised by applying an improved cross-like median filtering. Edges of bricks are extracted using the Canny edge detector. Vertical edges are detected by constraining polar angles in the Hough transform for analyzing the shape of the bricks. Anomaly detection is performed by measuring the length and width of the bricks in each column. Experimental results indicate that the average detection accuracy is 98.2% for brick-missing, brick-shifting and brick-tilting in one-scale brick stacks and multi-scale brick stacks. This meets the requirement of auto detection and recognition of brick anomaly in the automatic brick stack system of firing common bricks.

**Key words** image processing; brick-stack-anomaly recognition; machine vision; automatic brick stack system

**OCIS codes** 150.5758; 150.0155; 150.1135; 150.3040

## 1 引 言

“三分烧、七分码”是砖瓦行业常说的一句话, 足以说明码坯工艺在砖瓦生产中的重要性<sup>[1]</sup>。码坯方式主要有手工码坯和自动码坯两种; 手工码坯是码坯工通过手工操作将坯体码放到窑车上, 劳动强度大, 效率低; 自动码坯是利用码坯机或码坯机器人, 根据编制好的程序, 使用坯夹夹取坯体, 并自动将坯体码放到窑车上完成码坯过程。由于码坯机和码坯

机器人的自动化程度高, 工作稳定, 大大提高了生产效率和产品质量, 因此在砖瓦行业逐渐得到广泛应用<sup>[2,3]</sup>。但是自动码坯系统在实际生产中经常会遇到诸如下面的问题: 1) 分坯机在工作时受自身坯体动作和切坯机震动等影响容易引起部分坯体位置发生变化、倾倒, 如果不及时清理, 倾倒的坯体就会阻碍坯夹的夹取动作, 导致周边的坯体受损, 甚至损坏分坯机和坯夹; 2) 坯夹在运送坯体过程中受坯体尺

收稿日期: 2011-03-30; 收到修改稿日期: 2011-04-29

基金项目: 国家 973 计划(2007CB310600)资助课题。

作者简介: 向守兵(1973—), 男, 硕士, 副教授, 主要从事模式识别与智能控制等方面的研究。E-mail: 8255@scetc.net

本文电子版彩色效果详见中国光学期刊网(www.opticsjournal.net)

寸误差或坯夹夹持力的影响会出现掉坯现象,码放后就会缺坯,如果不及时补坯,会影响上一层坯体的受力,引发坯垛歪斜甚至倒垛。由于目前的自动码坯机和码坯机器人不能自动检测和识别坯体的异常状态,因此只能依靠人工观察,效率低,劳动强度大,容易疏忽而影响生产。

针对上述问题,提出采用工业摄像机实时采集分坯机和窑车上的坯体图像,使用机器视觉和模式识别技术自动检测与识别烧结普通砖坯体的状态,

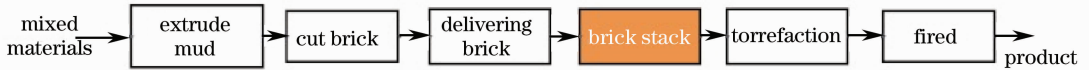


图1 烧结砖生产工艺流程

Fig.1 Production flow chart of fired bricks

经过粉碎、加水搅拌、混合和陈化等处理后的混合原料通过自动挤砖机挤出成型的泥条,再用自动切坯机切割成需要规格的砖坯,经分坯机分坯、编组后,由自动码坯机或码坯机器人将砖坯按照一定的方式码放到窑车上,最后经过干燥、焙烧等工艺即可形成成品烧结砖。

如前所述,码坯是烧结砖生产中的重要环节。当切坯机把切好的砖坯推到分坯板上后,分坯缸伸出,带动分坯板张开对砖坯进行分缝,砖坯分缝完成后升降缸下降。当码坯机或码坯机器人的夹盘到达预定夹坯位置后,夹盘夹具工作,夹起砖坯上升,并移动至窑车正上方,旋转装置完成 90°转向,然后下降至预定放坯高度,夹盘夹具张开把砖坯码放在窑车上,码放一层,旋转一层,形成十字交叉,经过上述动作循环,即可完成窑车的自动码坯过程<sup>[5]</sup>,如图2所示为一条机器人码坯生产线。

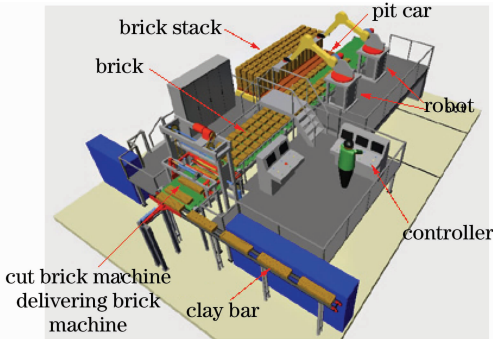


图2 机器人码坯生产线

Fig.2 Robotic production line of brick stack

## 2.2 系统工作原理

系统结构如图3所示,它由工业摄像机、图像采集卡、计算机和照明子系统构成。两台摄像机分

判断是否存在掉坯、坯体错位和坯体倾斜等异常发生,并向自动码坯控制系统发出报警。

## 2 系统结构与原理

### 2.1 自动码坯的工作原理

烧结砖是以粘土、页岩、煤矸石或粉煤灰等为原料,经成型和高温焙烧而制得的用于砌筑承重和非承重墙体的建筑材料<sup>[4]</sup>,自动化的烧结砖生产工艺流程如图1所示。

别获取分坯机上坯体和窑车上坯体的图像,输出的两路模拟图像信号送给图像采集卡进行 A/D 转换,然后通过软件对坯体图像进行预处理、边缘提取、坯体缺失、错位和倾斜等异常识别,并向自动码坯控制系统输入报警信号。

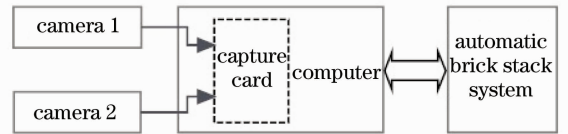


图3 系统结构框图

Fig.3 Block diagram of system structure

## 3 坯体异常识别的关键算法

### 3.1 图像的预处理

制砖车间大多数设备都采用电动机作为机械传动的动力,容易对摄像机采集的图像信号产生干扰,而图像边缘的检测和提取往往对噪声比较敏感,因此需要对采集的图像进行滤波降噪处理。图像滤波方法主要有线性滤波和非线性滤波两大类。虽然线性滤波对高斯噪声有很好的平滑作用,但对如电动机启停产生的脉冲噪声去噪效果不理想,同时会造成信号边缘模糊。中值滤波是一种非线性去噪方法,在一定的条件下可以克服线性滤波器带来的图像细节模糊,而且对滤除脉冲干扰及图像扫描噪声最为有效<sup>[6~8]</sup>。

如图4(a)所示,传统的中值滤波一般采用含有奇数个像素点的滑动窗口,用窗口中各点灰度值的中值来代替被处理像素点的灰度值,图像中的细线和显著角点会遭到损坏<sup>[9,10]</sup>。由于坯体的形状一般

为规则的直角六面体,坯体异常检测与识别的特征提取主要来自于图像边缘信息。为保持坯体边缘水平或垂直的线条,系统采用改进后的准十字中值滤波算法对坯体图像进行滤波降噪处理<sup>[11~13]</sup>,算法的基本思路是:首先以被处理像素点为中心分别在水平和垂直方向选取滑动窗口,如图4(b)所示;然后

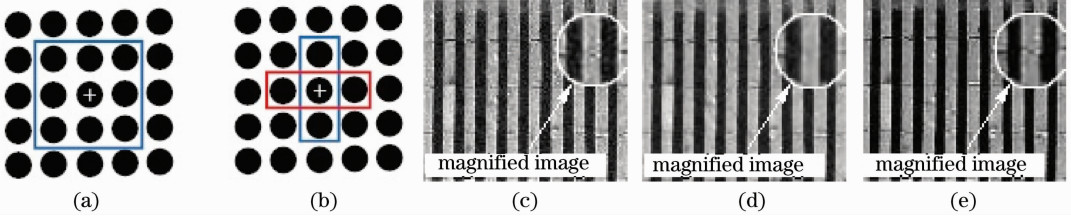


图4 中值滤波去噪结果。(a)矩形滑动窗;(b)准十字滑动窗;(c)噪声图像;  
(d)传统中值滤波去噪;(e)改进后的中值滤波去噪

Fig. 4 Median filtering denoised result by using various window. (a) Rectangle sliding window; (b) crossing window; (c) noise image; (d) median filter denoised result by using rectangle window; (e) median filter denoised result by using crossing window

为定量衡量滤波效果,采用峰值信噪比(PSNR) $R_{\text{PSN}}$ 和正则均方误差(NMSE) $E_{\text{NMS}}$ 对滤波后的图像质量进行客观评价<sup>[14,15]</sup>。PSNR和NMSE分别定义为

$$R_{\text{PSN}} = 10 \lg \frac{MNR^2}{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N [\hat{f}(i,j) - f(i,j)]^2}, \quad (1)$$

$$E_{\text{NMS}} = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N [\hat{f}(i,j) - f(i,j)]^2}{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^N [f(i,j)]^2}, \quad (2)$$

式中 $f(i,j)$ , $\hat{f}(i,j)$ 分别为原始图像和处理后的图像, $R$ 为 $f(i,j)$ 的最大值, $M,N$ 分别为图像的长宽像素。

根据(1),(2)式使用 Matlab 编程计算改进前后的中值滤波算法对图4(c)噪声图像去噪的 PSNR 和 NMSE 值,如表1所示。

表1 不同滤波算法的 PSNR 和 NMSE 值

Table 1 PSNR and NMSE values of filtering results with different methods

Algorithm	PSNR	NMSE
Median filtering	34.6125	0.0296
Improved median filtering	37.1582	0.0083

从表1可知,改进后的中值滤波算法 PSNR 值提高了 7.4%,NMSE 值降低了 72%,这表明改进后的中值滤波算法既保持了传统中值滤波对噪声的抑制能力,又提高了对砖坯边缘细节信息的保护能力,与主观评价结果一致。

分别计算两个窗口的中值 $x_i$ 和 $y_i$ ;最后取最大值 $\max(x_i, y_i)$ 为被处理像素点的灰度值。两种滑动窗口的滤波去噪效果对比如图4(d)和图4(e)所示,从主观视觉上观察图中右上角放大后的局部图像,改进后的中值滤波有效地滤除了噪声点,同时坯体的边缘细节保持完好。

### 3.2 坯体轮廓直线检测

常用烧结普通砖、多孔砖、空心砖等砖坯的外形都是规则的直角六面体,轮廓的直线特征比较明显,可以用于对坯体检测与识别。直线检测常用的方法有最小二乘法 and Hough 变换法两种。虽然最小二乘法在迭代次数、占用存储空间上比标准的 Hough 变换少,但当存在干扰时拟合误差较大。而 Hough 变换具有对随机噪声、边缘断裂不敏感等优点,被广泛应用于机器视觉和模式识别等领域<sup>[16,17]</sup>。

Hough<sup>[18]</sup>变换的基本思想是将图像中的一点映射到参数空间一条正弦曲线,一条直线上多个点的映射曲线相交于参数空间一点,其变换方程为

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta, \quad (3)$$

式中 $x,y$ 为图像空间直角坐标, $\rho$ 为直线到原点的距离,称为极径, $\theta$ 为直线的法线方向与 $x$ 轴正方向的夹角,称为极角。

传统的 Hough 变换对图像中每一个边缘像素点在 $[-90^\circ, +90^\circ]$ 极角内按照一定的角度细分间隔进行变换,并在参数空间对应位置进行投票累加,参数空间累加峰值点对应图像中一条直线方程。假设图像中有 $n$ 个边缘像素点,角度细分间隔为 $\Delta\theta$ ,那么传统的 Hough 变换对应的变换次数为 $180n/\Delta\theta$ ,需要进行 $360n/\Delta\theta$ 次乘法运算和 $180n/\Delta\theta$ 次加法运算,计算量比较大,这也正是传统 Hough 变换的主要缺陷之一<sup>[19,20]</sup>。

由上述分析可知,要减少计算量,可以采取减少边缘像素点 $n$ 、增大角度细分间隔为 $\Delta\theta$ 和限制极角

变化范围的方法。由于砖坯轮廓直线主要是水平和垂直两个方向,并且在同一砖坯层中一般采用等距单向码坯方式,所以只有横向或纵向中的一个方向是感兴趣的轮廓直线方向,如图 5(a)所示只需要对砖坯纵向的轮廓直线进行检测。鉴于此,为克服传统 Hough 变换计算量大的缺陷,采用极角约束的方法将角度变换限制在 $[-\alpha, +\alpha]$ 范围内,其中 $\alpha$ 为设定的角度变化范围。如果 $\alpha$ 取 $10^\circ$ 将极角约束在 $[-10^\circ, +10^\circ]$ 范围内,不难计算此时 Hough 变换的计算量仅为极角变化在 $[-90^\circ, +90^\circ]$ 范围内时的 $1/9$ ,经过改进后在很大程度上可以减少计算量。

坯体轮廓直线检测算法的实现步骤为:

1) 利用 Canny 算法<sup>[21]</sup>获取坯体的边缘,实验中设置上、下门限阈值分别为 $T_1=0.04, T_2=0.6$ ,设置标准偏差 $\sigma=2.0$ ,边缘检测结果如图 5(b)所示;

2) 在极角约束范围 $[-\alpha, +\alpha]$ 内进行 Hough 变换,实验中取 $\alpha=10^\circ$ ;

3) 从 Hough 变换结果中搜索具有最高计数的累加器单元;

4) 查找对应于该累加器单元的直线并将间隙小于所设阈值的直线相合并;

5) 计算直线段的起点和终点,为后续的异常识别提供必要的数据库。

坯体轮廓直线检测结果如图 5(d)所示,图中绿色线为检测到的轮廓直线段,黄色“×”为线段的起点,红色“△”为线段的终点。可见纵向的 14 条边缘直线与图 5(c)中 Hough 变换的 14 个峰值点一一对应,并且进行极角约束后,只有砖坯纵向的边缘直线被提取出来,一方面减少了计算量,另一方面为后续砖坯的异常识别提供了条件。

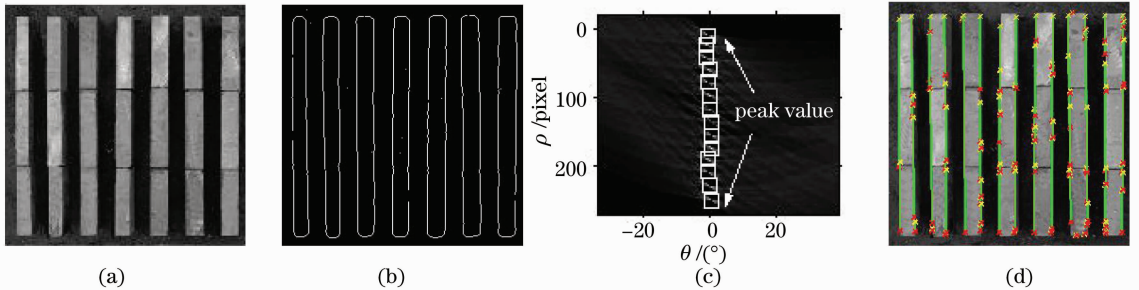


图 5 轮廓直线检测。(a)去噪图像;(b)Canny 边缘检测;(c)Hough 变换图;(d)轮廓直线检测结果  
Fig. 5 Line detection of outline. (a) Denoised image; (b) edge detection by using Canny; (c) Hough transform; (d) line detection result of outline

### 3.3 坯体异常识别

如图 6(a)所示为采集的掉坯图像,其轮廓直线检测结果如图 6(b)所示。不难发现:1)每列砖坯纵向的两条边缘都由不同数量、不同长度的线段连接构成,正常情况下每列边缘线总长度应该与标准长度接近;2)当发生掉坯时,图 6(b)中第 4 列两条边缘出现了明显断线。

对图 6(b)各列砖坯边缘线段的总长度进行统计,其分布如图 7 所示,很显然第 4 列边缘长度明显比其它列的边缘长度短,根据这一特征设计如下异常识别算法:

1) 首先根据前面已经得到的各线段起点和终点的坐标值,分别计算各纵向边缘线段的总长度,并对同列砖坯左右边缘总长度求平均值,以此平均值作为该列砖坯的实际长度。第 $i$ 列砖坯的实际长度

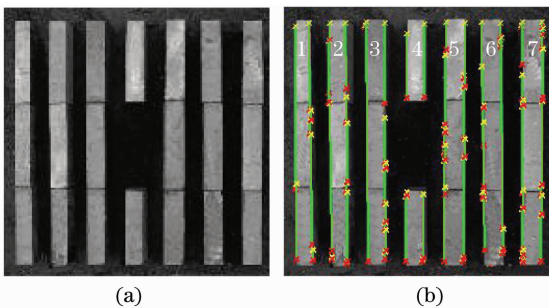


图 6 异常检测。(a)掉坯图像;(b)轮廓直线检测结果  
Fig. 6 Anomalous-brick detection. (a) Brick-missing image; (b) line detection result of outline

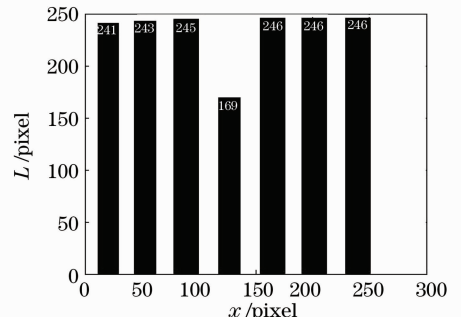


图 7 边缘直线段长度分布  
Fig. 7 Length distribution of each column brick

记为  $l_i (i=0,1,2,\dots,7)$ ;

2) 根据(2)式计算各列砖坯完整度,砖坯的标准长度  $L$  可根据摄像机的标定参数、码坯方式以及砖坯的公称尺寸共同计算得到:

$$k_i = l_i/L (i=0,1,2,\dots,7), \quad (4)$$

式中  $k_i$  为第  $i$  列砖坯的完整度,  $l_i$  为第  $i$  列砖坯的实际长度,  $L$  为砖坯标准长度。

3) 将  $k_i$  与设定的阈值进行比较,判断是否出现砖坯异常情况。通过实验测试,如果完整度  $k_i \geq 0.85$ ,则认为砖坯完好;否则认为砖坯有掉坯、错位或倾斜等异常情况。

## 4 实验与结果分析

实验选用烧结普通砖坯<sup>[22]</sup>,其公称尺寸为:长 240 mm、宽 115 mm、高 53 mm,样本长度平均偏差  $\pm 3.0$  mm,样本极差小于等于 8.0 mm;码坯方式采用  $90^\circ$ 交叉多层码放,每层 7 列,每列 3 块,码垛高度不大于 1400 mm;摄像机选用 WAT-902H2,图像采集卡选用大恒 DH-V120,计算机 CPU 主频 3.4 GHz、内存 2.0 GB,软件采用 VC6.0 和 OpenCV2.0,预处理后图像分辨率为  $256 \text{ pixel} \times 256 \text{ pixel}$ 。由于摄像机的安装位置是固定的,而客车上的多层砖坯是采取  $90^\circ$ 交叉码放,为了简化算法,对于客车上横向码放层的图像在预处理时旋转  $90^\circ$ 后再进行后续检测与识别,从而保证每层砖坯图像的方向都为纵向。为测试系统性能,设计如下实验策略:首先对掉坯、砖坯倾斜、砖坯错位时砖坯的完整度与人工测量对比测试;然后分别对单层和多层码坯方式下单块

砖坯异常进行检测与识别实验;最后对多块砖坯的异常进行检测与识别实验。

### 4.1 单块砖坯异常时完整度对比测试

如图 8(a)~(c)分别为单层码坯方式下第四列单块砖坯出现掉坯、错位和倾斜的异常情况;如图 9(a)~(c)分别为多层码坯方式下第一列单块砖坯出现掉坯、错位和倾斜的异常情况。

首先参考《砌墙砖试验方法》国家标准<sup>[23]</sup>采用分度值为 1 mm 的钢直尺分别对上述六种情况下异常砖坯实际长度进行人工测量,并根据(4)式计算砖坯完整度。然后采用本文算法对上述六种情况砖坯进行纵向边缘直线段检测,检测结果如图 8(d)~(f)和图 9(d)~(f)所示,并自动测量砖坯实际长度,同样根据(4)式计算完整度。对比测量数据及计算结果如表 2 所示。

由图 8 和图 9 的检测结果可知,系统能正确地在  $[-10^\circ, +10^\circ]$ 极角范围内检测出砖坯的纵向左右边缘线段。对掉坯和坯体错位异常情况,检测的左右边缘线段出现明显的断线,即不完整,如图 8(d),(e)和图 9(d),(e)所示;对坯体倾斜异常情况,虽然系统会将倾斜坯体的底部左边缘检测出来,如图 8(f)和图 9(f)所示,但系统以左右边缘长度的平均值作为坯体的实际长度,因此仍然可以采用根据(4)式计算的完整度这一特征量将其与正常坯体划分出来。由表 2 可知,对掉坯和坯体错位情况下完整度检测偏差最小,不超过 2%。对坯体倾斜情况下的完整度检测偏差最大,平均偏差为 4.1%,在 5%以内,采用本算法能较准确地测量砖坯完整度。

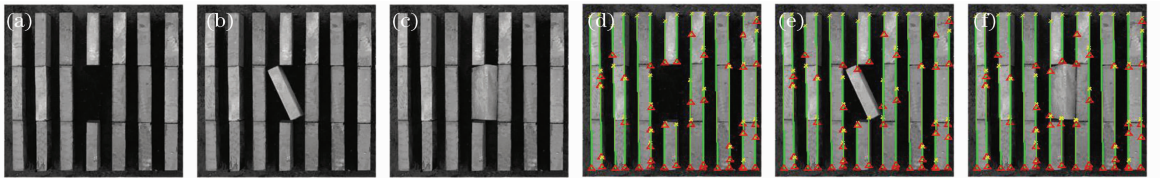


图 8 单层异常检测。(a)掉坯;(b)错位;(c)倾斜;(d)掉坯检测结果;(e)错位检测结果;(f)倾斜检测结果  
Fig.8 Anomaly detection under one-scale brick stack. (a) Brick-missing image; (b) brick-shifting image; (c) brick-tilting image; (d) detection result of (a); (e) detection result of (b); (f) detection result of (c)

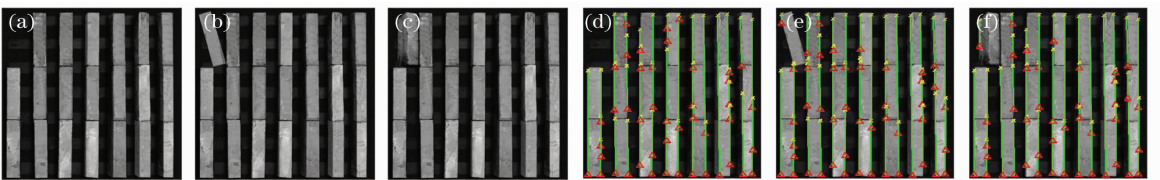


图 9 多层异常检测。(a)掉坯;(b)错位;(c)倾斜;(d)掉坯检测结果;(e)错位检测结果;(f)倾斜检测结果  
Fig.9 Anomaly detection under multi-scale brick stack. (a) Brick-missing image; (b) brick-shifting image; (c) brick-tilting image; (d) detection result of (a); (e) detection result of (b); (f) detection result of (c)

表 2 不同异常情况的完整度检测结果

Table 2 Integrality of the different anomalous brick

Sample	Integrality of the anomaly brick						Offset of integrality
	Manual measure			Automatic measure			
	Standard length/mm	Actual length/mm	Integrality/%	Standard length/mm	Actual length/mm	Integrality/%	
Column 4 of Fig. 8(d)		485.0	66.8		485.5	66.9	0.1
Column 4 of Fig. 8(e)		484.0	66.7		494.5	68.1	1.4
Column 4 of Fig. 8(f)		484.0	66.7		583.0	80.3	13.6
Column 1 of Fig. 9(d)	726	483.5	66.6	726	483.0	66.5	-0.1
Column 1 of Fig. 9(e)		485.0	66.8		487.0	67.1	0.3
Column 1 of Fig. 9(f)		484.0	66.7		553.5	76.2	9.5

## 4.2 单块砖坯异常识别

对采集的 3600 张包括单块砖坯掉坏、错位和倾斜等异常样本进行识别,识别结果如表 3 所示。

表 3 不同异常情况的识别结果

Table 3 Recognition results of the different anomaly

Sample	Detection accuracy		Average detection accuracy
	One-scale brick stacks	Multi-scale brick stacks	
	Brick-missing	99.7	
Brick-shifting	99.5	99.3	99.4
Brick-tilting	97.7	97.2	97.5

由表 3 可知,对掉坏的识别性能最好,其次是错位的识别,对倾斜的识别最差;单层码坯比多层码坯的识别正确率高,单块砖坯异常的平均识别正确率为 98.8%。

## 4.3 多块砖坯异常检测与识别

实际生产中一般是单块砖坯出现异常,但为了进一步测试算法的稳健性,最后对多块砖坯同时出现异常进行检测与识别,如图 10 所示为多块砖坯出现倾斜异常时的纵向边缘直线段检测结果。

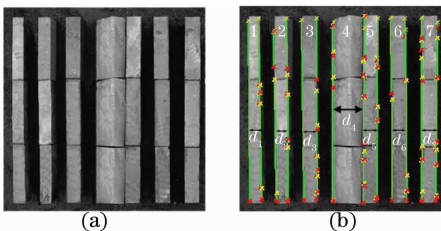


图 10 多块砖坯倾斜检测。(a)多块倾斜;  
(b)多块倾斜检测结果

Fig. 10 Many-gradient-bricks detection. (a) Image of gradient bricks; (b) detection result of (a)

由图 10 可知,第 4 列砖坯右边缘直线与第 5 列砖坯左边缘重合,显然根据(2)式计算第 4 列砖坯的完整度并不会超出报警阈值,将会导致漏警。为解决这一问题,增加每列砖坯宽度判断准则:如果所检

测的某一列砖坯宽度超出正常值,则认为砖坯有倾斜,否则正常。如图 10(b)中第 1,2,3,5,6,7 列砖坯的宽度  $d_1, d_2, d_3, d_5, d_6, d_7$  接近砖坯的实际宽度,但是倾斜后的第 4 列砖坯宽度  $d_4$  则大于砖坯的实际宽度。按照文献[22]GB5101-2003 规定的标准,普通烧结砖的高度公称尺寸为 53 mm,样本平均偏差±3.0 mm,如果每层码放 7 列,每列 3 块,则每列砖坯正常中心间距为 103 mm。根据实验测试如果所检测的某一列砖坯宽度超过 80 mm 则判断砖坯有倾斜,否则正常。对 600 张多块砖坯倾斜样本图像进行测试,平均识别正确率为 96.3%。

## 5 结 论

1)改进后的准十字中值滤波算法 PSNR 值提高了 7.4%,NMSE 值降低了 72%,对直角六面砖坯体图像进行滤波降噪的同时,有效地保持了坯体边缘的直线信息。

2)根据砖坯边缘直线的方向特征,采用极角约束的方法对砖坯进行 Hough 边缘直线检测,计算量仅为传统 Hough 变换的 1/9。

3)通过测量砖坯边缘直线完整度和坯体宽度能有效进行单层和多层码坯方式下掉坏、坯体错位和坯体倾斜等异常识别。实验结果表明,对烧结普通砖坯异常的平均识别正确率为 98.2%,系统在制砖企业使用效果良好,为机器视觉在砖瓦自动化生产中的应用提供了借鉴。

## 参 考 文 献

- 1 Wang Dongyun, Sun Yong. How to improve stacking process to improve product quality[J]. *Brick and Tile*, 2008, (4): 46~47  
王冬云, 孙 勇. 如何改进码坯工艺提高产品质量[J]. *砖瓦*, 2008, (4): 46~47
- 2 Wang Haichen. The application of automatic stacking system in brickfield[J]. *Brick and Tile*, 2008, (9): 75~76  
王海臣. 自动码坯机在烧结砖厂的应用[J]. *砖瓦*, 2008, (9):

- 3 Shi Hongwen. The development of brick and tile mechanical equipment in China[J]. *Brick and Tile*, 2011, (1): 29~30  
时洪文. 我国砖瓦机械装备的发展[J]. *砖瓦*, 2011, (1): 29~30
- 4 Luo Nan. Research on Environmental Impact of Sintered Brick Production in China [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2009  
罗楠. 中国烧结砖制造过程环境负荷研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2009
- 5 Xiao Liang, Zhao Shiwu. The research of high-performance insulation block equipment [J]. *Wau Reform and Building Energy Conservation*, 2008, (1): 60~61 肖亮, 赵世武. 高性能保温砌块切码运设备的研制 [J]. *墙材革新与建筑节能*, 2008, (1): 60~61
- 6 J. G. Brankov, A. Saiz-Herranz, M. N. Wernick. Noise analysis for diffraction enhanced imaging [C]. Chicago: Biomedical Imaging, 2004, 2(4): 1428~1431
- 7 B. Jin, N. Park, K. M. George *et al.*. Modeling and analysis of soft test/repair for CCD based digital X-ray systems[J]. *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, 2003, 52(6): 1713~1721
- 8 J. L. Mateo, A. Caballero Hernandez. Finding out general tendencies in speckle noise reduction in ultrasound images[J]. *Expert Syst. Appl.*, 2009, 36(4): 7786~7797
- 9 Ouyang Chengsu, Huang Yongxuan. A new de-noising method for X-ray image using fuzzy weighted median filter [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, 39(8): 1372~1376  
欧阳诚苏, 黄永宣. 模糊权重中值滤波的 X 射线图像消噪算法 [J]. *光子学报*, 2010, 39(8): 1372~1376
- 10 Liu Songtao, Ma Linpo, Yin Fuliang. A color image vector median filtering algorithm based on noise estimation and double weighted spatial distance and magnitude value [J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2011, 22(1): 131~135  
刘松涛, 马林坡, 殷福亮. 基于噪声估计和双加权的彩色图像矢量中值滤波 [J]. *光电子·激光*, 2011, 22(1): 131~135
- 11 Wang Taiping, He Yuyao, Li Gang. Median filter with improved all direction windows for road detecting [J]. *Computer Measurement & Control.*, 2008, 16(2): 150~152  
王太平, 贺昱曜, 李刚. 准米字窗口中值滤波在路面检测中的应用 [J]. *计算机测量与控制*, 2008, 16(2): 150~152
- 12 Zhang Wenpan, Wu Junhui, Zhu Zhen *et al.*. Application of improved crossing based median filter in image processing of IR image [J]. *Electronics Optics & Control.*, 2006, 13(1): 83~86  
张文攀, 吴军辉, 朱震等. 基于准十字窗口的中值滤波法在红外图像处理中的应用 [J]. *电光与控制*, 2006, 13(1): 83~86
- 13 Zhang Xinming, Dang Liuqun, Xu Jiucheng. Fast adaptive image median filter based on crossing windows [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2007, 43(27): 37~39  
张新明, 党留群, 徐久成. 基于十字滑动窗口的快速自适应图像中值滤波 [J]. *计算机工程与应用*, 2007, 43(27): 37~43
- 14 Lou Shuai, Ding Zhengliang, Yuan Fen. Iterative image restoration algorithm based on contourlet transform [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(10): 2768~2773  
娄帅, 丁振良, 袁峰. 基于 Contourlet 变换的迭代图像复原算法 [J]. *光学学报*, 2009, 29(10): 2768~2773
- 15 Wu Xiaoyue, Guo Baoalong, Tang Lu *et al.*. A new adaptive image denoising method based on the nonsubsampling contourlet transform algorithm [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(8): 2147~2152  
武晓玥, 郭宝龙, 唐璐等. 一种新的基于非下采样 Contourlet 变换的自适应图像去噪算法 [J]. *光学学报*, 2009, 29(8): 2147~2152
- 16 Jiang Guoquan, Ke Xing, Du Shangfeng *et al.*. Crop row detection based on machine vision [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(4): 1015~1020  
姜国权, 柯杏, 杜尚丰等. 基于机器视觉的农田作物行检测 [J]. *光学学报*, 2009, 29(4): 1015~1020
- 17 Ji Ying, Liu Gang, Shen Wei. A method based on machine vision to obtain a guidance directrix [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(12): 3362~3366  
籍颖, 刘刚, 申巍. 基于机器视觉技术获取导航基准线的方法 [J]. *光学学报*, 2009, 29(12): 3362~3366
- 18 Lü Qieni, Gao Yan, Ge Baozhen *et al.*. Digital holographic particle sizing with hough transform [J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, 36(4): 940~944  
吕且妮, 高岩, 葛宝臻等. 基于霍夫变换的数字全息粒子尺寸测量 [J]. *中国激光*, 2009, 36(4): 940~944
- 19 Kang Wenjing, Ding Xuemei, Cui Jiwen *et al.*. Fast straight-line extraction algorithm based on improved Hough transform [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2007, 34(3): 105~108  
康文静, 丁雪梅, 崔继文等. 基于改进 Hough 变换的直线图形快速提取算法 [J]. *光工程*, 2007, 34(3): 105~108
- 20 Zhu Fangfagn, Gu Hongbin, Sun Jin. A line detection algorithm based on improved Hough transformation [J]. *Computer Technology and Development*, 2009, 19(5): 20~22  
朱芳芳, 顾宏斌, 孙瑾. 一种改进的 Hough 变换直线检测算法 [J]. *计算机技术与发展*, 2009, 19(5): 20~22
- 21 R. Deriche. Using Canny's criteria to derive a recursively implemented optimal edge detector [J]. *Int. J. Comput. Vision*, 1987, 1(2): 167~187
- 22 Building Materials Institute, Nanjing, Jiangsu. GB 5101-2003 Fired Common Bricks [S]. Beijing: Standard Press of China, 2004  
江苏省南京市建筑材料研究所. GB5101-2003 烧结普通砖 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2004
- 23 China National Building Materials Company. GB/T 2542-2003 Test Method for Wall Bricks [S]. Beijing: Standard Press of China, 2003  
中国新型建筑材料公司. GB/T 2542-2003 砌墙砖试验方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003